

論文 デジタルカメラを用いたひび割れ測定法の標準化に関する検討

川村 力*1・曾我部 正道*2・石井 秀和*3・佐藤 勉*4

要旨:デジタルカメラと自動画像処理ソフトを用いたコンクリートのひび割れ測定における、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、撮影画角、画質、距離、角度、光量等の各条件がひび割れの自動画像処理に与える影響を検証した。また、光量について実構造物で照度測定を行い、部材位置と照度の関係を示した。さらに実構造物におけるデジタルカメラを用いたひび割れの測定法として、上記の撮影条件についての標準化を図った。

キーワード: デジタルカメラ、ひび割れ、撮影方法

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理において、重要な検査項目としてひび割れの測定がある。日常点検においてひび割れの有無や進行の程度を測定することは、構造物の性能の低下を推定する重要な指標となる。現在、実構造物の維持管理において、ひび割れの測定は目視による場合が多く、測定作業には多くの手間と時間を要する。近年、デジタルカメラの高画素化や画像処理ソフトの開発により、ひび割れ図の自動作成方法がいくつか提案されており、これらを用いたひび割れ測定の検証^{1),2),3)}が行われている。しかしながら、実際の現場での運用を考慮した撮影方法となると、標準化されるまでには至っていない。

そこで本研究では、市販のデジタルカメラと自動画像処理ソフト（以下処理ソフト）を使用したひび割れの測定方法について、撮影画像に及ぼす諸条件の影響を実験により検証し、実構造物に適用する場合の標準的な撮影方法を提案するものである。ここで、ひび割れの測定とは、ひび割れ幅およびひび割れ長さを定量的に測定することを目的とする。また、本検討では鉄道構造物の維持管理においては、主として 0.2～0.3mm のひび割れを健全度判定の指標としていることを考慮し、0.25mm 以上のひび割れについて、60%以上の認識率を目標とした。

2. 実験概要

実験は実構造物のひび割れに対して行った。撮影を行ったひび割れは、コンクリート壁にそれぞれ鉛直方向、水平方向および斜め 45 度方向に入っており、ひび割れ幅は 0.05mm から 0.55mm の範囲であった。ひび割れの状況を図-1に示す。これらのひび割れに対して、表-1の条件により撮影を行い、その影響について検証した。撮影状況を図-2に示す。

また、撮影に使用したデジタルカメラの主な仕様を表-2に示す。

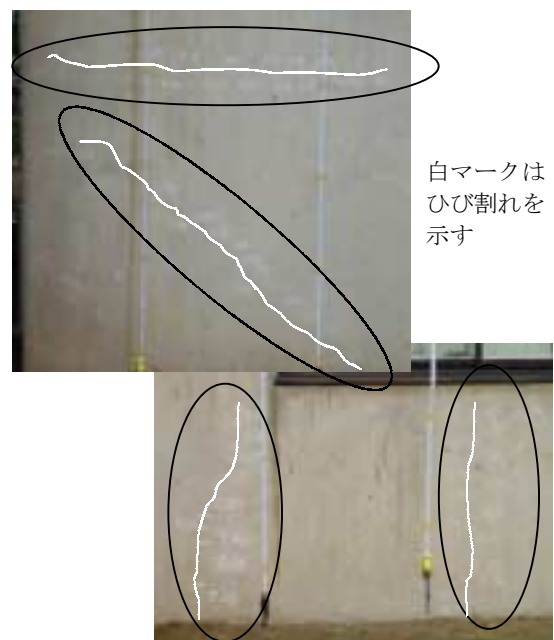


図-1 ひび割れの状況

*1 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 研究員 工修 (正会員)

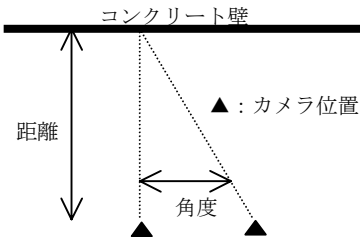
*2 (財)鉄道総合技術研究所 構造力学 副主任研究員(正会員)

*3 (株)BMC

*4 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 主任研究員 GL 工博 (正会員)

表－１ 撮影条件

撮影条件	パラメータ
画 角	1×1m, 2×2m
距 離	4m, 8m, 12m
角 度	0～45 度
圧縮率	高画質, 標準
被写体の明るさ	0lx～40,000lx



図－２ 撮影状況（平面図）

表－２ デジタルカメラの主な仕様

	カメラ 1	カメラ 2
有効画素数	約 500 万画素	約 320 万画素
DXP※	14bit	14bit
ISO 感度	自動,100,200,400	自動,100,200,400
CCD サイズ	2/3 型	1/1.8 型
ズーム	光学 5 倍 デジタル 2 倍	光学 3 倍 デジタル 2 倍

※DXP：A/D コンバータ

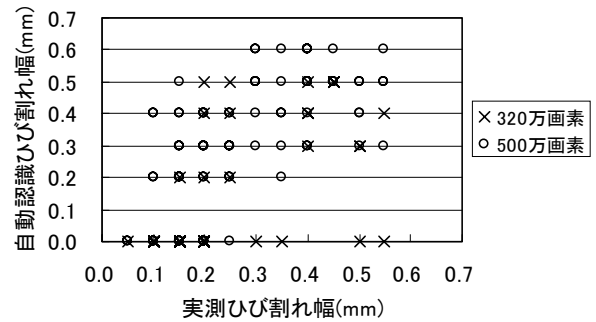
表－２の２台のカメラを使用してひび割れの撮影を行い、市販の処理ソフトによりひび割れ幅の自動認識を行った。また、実測ひび割れ幅はクラックスケールにより読みとった。

3. 実験結果

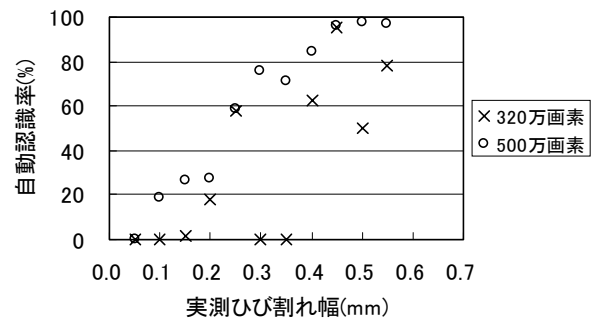
3.1 画素数に関する検証

図－３(a), (b)にカメラ１（有効画素数 500 万画素）とカメラ２（有効画素数 320 万画素）により撮影した結果を示す。図－３(a)で、縦軸の自動認識ひび割れ幅とは、処理ソフトが判定したひび割れ幅を示す。ひび割れ幅の判定は、同一ひび割れ幅の区間において、判定の値が最も大きいものを採用した。今回使用した処理ソフトは、５段階のしきい値を設定し判定できるため、本検討では 0.1mm から 0.6mm まで 0.1mm 間隔で判定した。また、図－３(b)における自動認識率の求め方を図－４に示す。図－４におい

て、a は実際のひび割れ長さで、この区間は実測ひび割れ幅が同一である。b はこの区間で処理ソフトがひび割れと認識した長さである。自動認識率とは、ある同一ひび割れ幅の区間において、処理ソフトが認識したひび割れ長さを、実際のひび割れ長さで除して求めた。

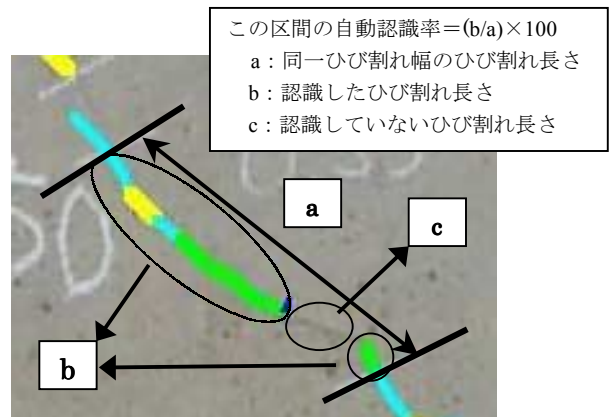


(a) ひび割れ幅の判定



(b) ひび割れの認識率

図－３ 画素数の影響
(画角 2m, 距離 8m, 角度 0度, 照度 5000lx)



図－４ 自動認識率の求め方

図－３(a)で、ひび割れ幅の判定については、500 万画素のカメラではひび割れ幅が 0.25mm 以下で判定できない場合もあるが、0.25mm を超えるひび割れについてはすべてのひび割れ幅を判定できている。一方、320 万画素のカメラではひび割れ幅が 0.5mm 程度のものでも判定

できない場合がある。また、図－3 (b) で、ひび割れの認識率においても 320 万画素の場合ではひび割れ幅が 0.5mm でも低い結果となった。ただし、図中の誤差には実測ひび割れの測定誤差も含まれている。よって、画素数については、500 万画素程度がよいと考えられる。以下の画角、圧縮率、距離、角度、明るさの検証ではカメラ 1 を使用することとする。

3.2 画角に関する検証

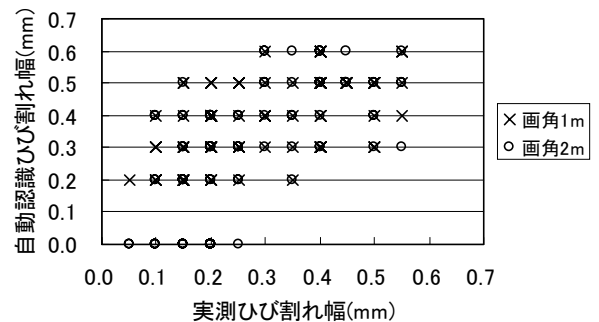
図－5 (a), (b) に画角を 1×1m と 2×2m で撮影を行った結果を示す。図－5 (a) で、画角が 2×2m の場合はひび割れ幅が 0.25mm 以下のものについて判定できない場合があるが、0.25mm を超えるひび割れ幅についてはすべて判定できている。図－5 (b) においても、0.25mm 以上のひび割れについては、認識率が 60% 程度の結果となった。したがって、2×2m 画角で撮影を行っても問題ないと思われる。

3.3 画像記録時の圧縮率に関する検証

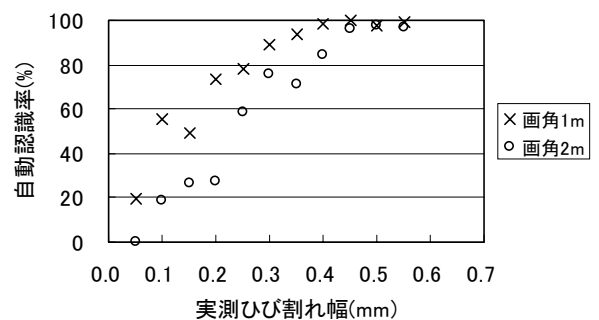
撮影画像を記録する場合に、一般的なデジタルカメラでは圧縮率を選択できる場合がある。低圧縮率で記録した場合、高精度な画像が得られるが、一つのファイルのデータ量が大きくなり、内蔵されたメモリーに記録できる画像の枚数が少なくなるため、実際の検査において作業性が悪くなる結果となる。また、高圧縮率で記録された場合は、データ量は小さくなるが、画像が劣化するため、ひび割れの自動認識の結果に直接影響を与える可能性もあり、さらに一度高圧縮率で記録された画像は復元が不可能であるため、圧縮率についての検証も必要である。

図－6 (a), (b) に高画質モードと標準モードで撮影した結果を示す。図－6 (a) で、ひび割れ幅の判定においては、どちらの場合も 0.25mm を超えるひび割れはすべて判定できている。また、図－6 (b) で、認識率についてもほとんど差が見られなかった。この結果から、画素数が 500 万画素程度の性能を備えたデジタルカメラであ

れば、画像の記録形式については標準的な圧縮率で十分であると言える。

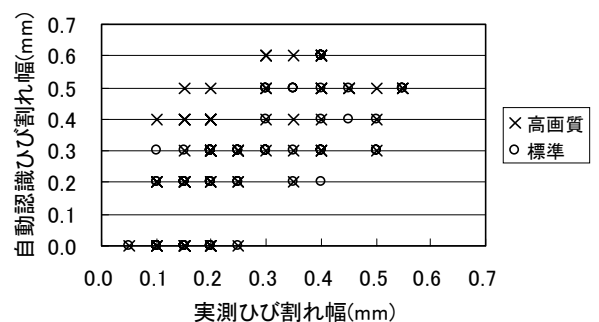


(a) ひび割れ幅の判定

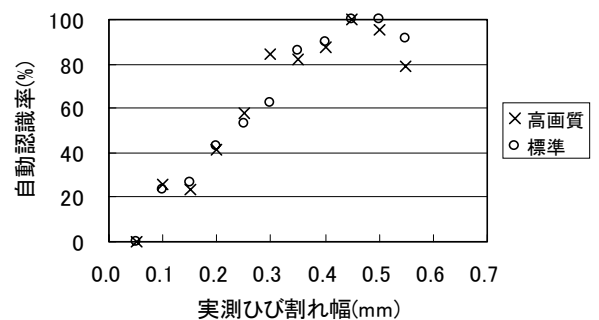


(b) ひび割れの認識率

図－5 画角の影響
(距離 8m, 角度 0 度, 照度 5000lx)



(a) ひび割れ幅の判定



(b) ひび割れの認識率

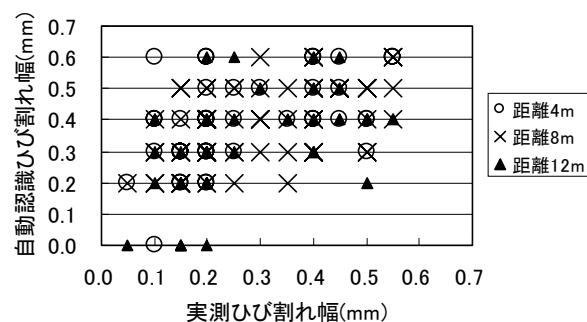
図－6 画像記録時の圧縮率の影響
(画角 2m, 距離 8m, 角度 0 度, 照度 5000lx)

3.4 距離（ズーム）に関する検証

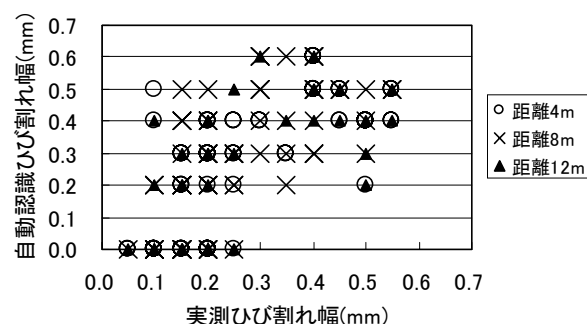
近年のデジタルカメラには光学ズームやデジタルズームを備えたものが多くあり、ズーム機能を使用することにより、様々な距離から画角を調整することが可能である。

したがって、ズーム機能を使用した場合の撮影画像に与える影響を検証する必要がある。

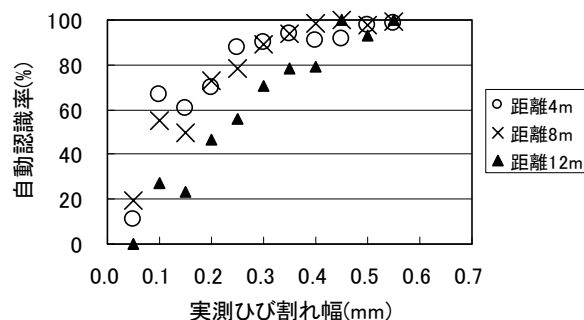
図－7 (a)から(d)に画角が $2 \times 2\text{m}$ と $1 \times 1\text{m}$ の場合に、距離を 4m, 8m, 12m と変化させてズーム機能を使用した結果を示す。画角が $2 \times 2\text{m}$ の場合は、距離が 12m でも光学ズームにより画角を確保できる。図－7 (b)で、いずれの場合もひび割れ幅が 0.25mm を超えるものについてはすべて判定できている。また、図－7 (d)においても、認識率に大きな差はない。したがって、光学ズームのみを使用した場合には、画像に与える影響は少ないと言える。画角が $1 \times 1\text{m}$ の場合は、距離が 12m の場合にデジタルズームとなる。図－7 (a)では(b)と同様な傾向であるが、図－7 (c)では、距離が 8m まではほとんど差が見られないが、12m では認識率が悪くなっている。以上から、デジタルズームを使用した場合、画像が劣化する影響で認識率が悪くなることが確認された。



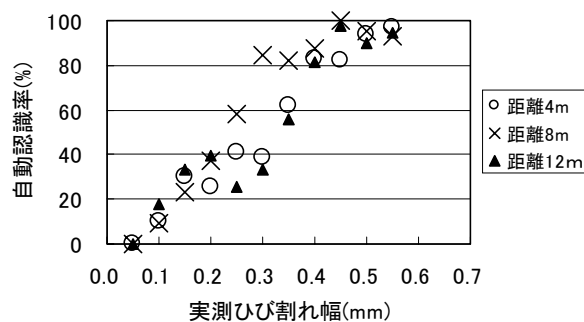
(a) ひび割れ幅の判定 (画角 $1 \times 1\text{m}$)



(b) ひび割れ幅の判定 (画角 $2 \times 2\text{m}$)



(c) ひび割れの認識率 (画角 $1 \times 1\text{m}$)



(d) ひび割れの認識率 (画角 $2 \times 2\text{m}$)

図－7 距離（ズーム）の影響
(角度 0 度、照度 5000l/x)

3.5 撮影角度に関する検証

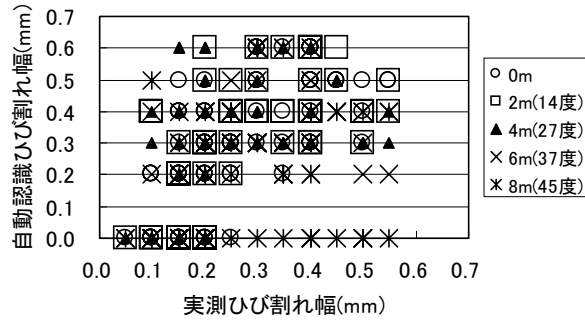
撮影角度は撮影条件の重要なパラメータである。ひび割れを撮影する際、撮影箇所に正対して撮影を行うことが望ましいが、実構造物の検査を考えた場合、環境条件等から撮影角度が制限されることは少なくない。そこで、撮影角度の画像に与える影響を検証する必要がある。

図－8 (a), (b)に、撮影箇所から正対した位置を 0m とし、そこから水平方向に 8m まで 2m 毎に撮影した結果を示す。撮影した画像は、あおり補正などを行わず、そのまま画像処理ソフトにより処理を行った。

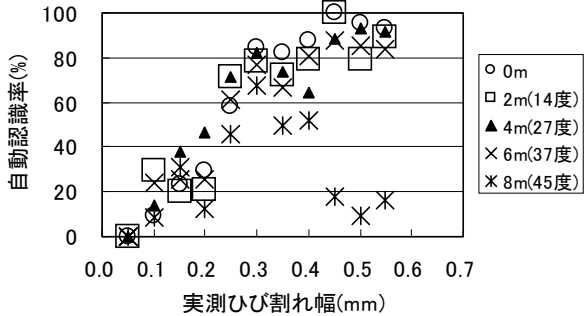
図－8 (a)では、角度が 8m (45 度) の場合にひび割れ幅が 0.5mm 程度のもので判定できない場合があり、図－8 (b)で、認識率についても 0m から 6m までは大きな差は見られないが、 8m (45 度) では認識率が大きく低下している。この結果は既往の研究¹⁾とも一致している。

また、ひび割れを撮影する場合、撮影角度の他に、撮影するひび割れの方によっても影響を受けるものと考えられる。そこで、ひび割れの方による検証も行った。図－9 (a), (b)に鉛直方向、水平方向、斜め 45 度方向のひび割れに

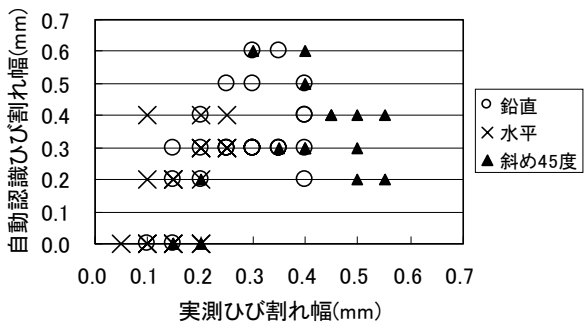
について比較した結果を示す。図－9 (a) では、いずれの場合もひび割れ幅が 0.2mm を超えるものについてはすべて判定できており、図－9 (b) で、認識率についても大きな差はない。したがって、ひび割れの方向によって特別に撮影方法を規定する必要はないものと考えられる。



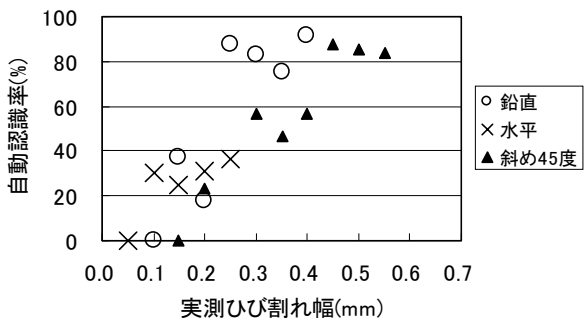
(a) ひび割れ幅の判定



(b) ひび割れの認識率
図－8 撮影角度の影響
(画角 2m, 距離 8m, 照度 5000lx)



(a) ひび割れ幅の判定

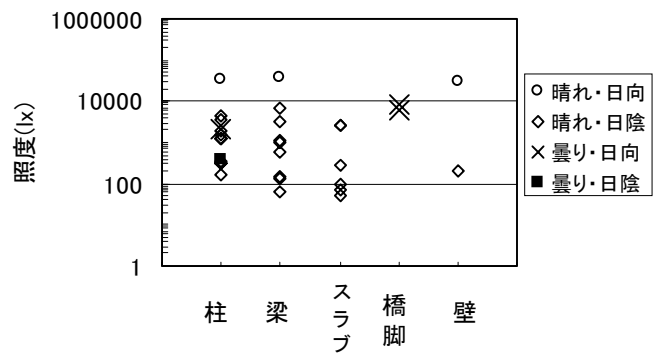


(b) ひび割れの認識率
図－9 撮影角度とひび割れ方向の影響
(画角 2m, 距離 8m, 照度 5000lx)

3.6 明るさ（照度）に関する検証

撮影を行う際の明るさは、日照条件などに大きく左右される。また、実構造物においてひび割れの撮影を行う場合、日照条件が良好であっても、橋りょうや高架橋の下部工などは日陰となり、日向で撮影する場合とは状況が異なる。したがって、実構造物の部材位置（被写体）における明るさが画像に与える影響を検証する必要がある。

図－10 に実構造物の部材位置における照度を測定した結果を示す。なお、照度の測定は部材表面で行い、照度測定器は JISC1609-1993 一般形 AA 級に準拠したデジタル照度計を使用した。



図－10 部材位置と照度の関係

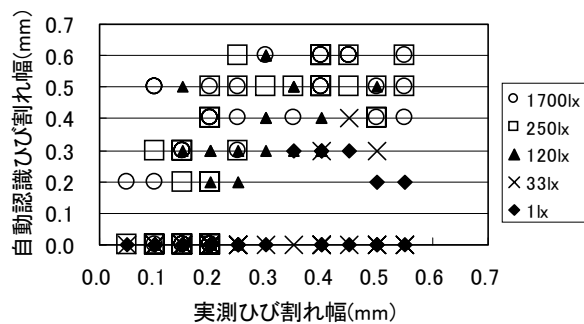
照度測定の結果、部材表面での照度は、日向や日陰で異なり、また、スラブ下などは 100 lx 以下となる場合もあった。逆に、柱や梁などの直接日光が当たる場所の照度は 30,000 lx 以上となっており、条件によって大きく異なることが確認された。

図－11 (a), (b) に午後 3 時頃 (1,700 lx) から日没直後 (1 lx) まで、段階的に照度を測定して撮影した結果を示す。ここで、日没直後 (1 lx) の撮影ではフラッシュを使用した。

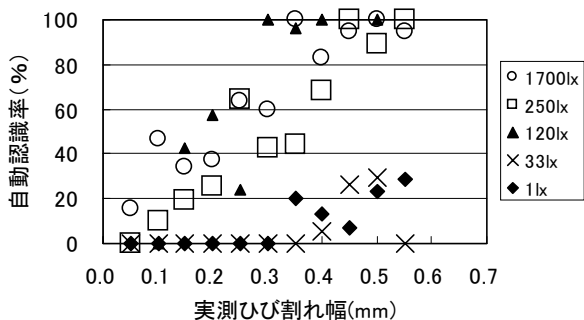
図－11 (a) において、照度が 120 lx までは、ひび割れ幅が 0.2mm を超えるものはすべて判定できているが、33 lx の場合と日没直後 (1 lx) でフラッシュを使用した場合は 0.5mm 程度のひび割れであっても判定できない場合がある。また、図－11 (b) でも同様に 33 lx と 1 lx の場

合は認識率が大きく低下している。したがって、ひび割れの撮影を行う場合の照度は、100 lx 以上を目安にするのがよいと考えられる。なお、100 lx とは、目視で 8m の距離からひび割れが確認できる限界に近い。したがって、照度測定を行わない場合でも、目視でひび割れが確認できる明るさであればよいと考えられる。

また、フラッシュの使用については、検証結果を見ると認識率が大きく低下しているため、使用しないのがよいと考えられる。



(a) ひび割れ幅の判定



(b) ひび割れの認識率

図-11 明るさ（照度）の影響
(画角 2m, 距離 8m, 角度 0 度)

4. 測定法の標準化

実務では、構造物を目視検査し、変状を写真撮影により記録することが基本となる。任意の写真が後処理されることを想定した場合、検査における撮影方法を標準化しておくのがよい。前章までの検討結果を踏まえ、以下に鉄道構造物の検査における標準的な撮影方法を提案する。

(1) デジタルカメラ

・有効画素数 500 万画素以上のものを使用するのがよい。

(2) 画角

・2×2m 画角以下とする。

・0.2mm 未満のひび割れを対象とする場合は画角を 1×1m 程度にするのがよい。

(3) 撮影距離

・光学ズームにより画角を確保することを原則とする。

一般に、3 倍程度の光学ズーム機能を備えたデジタルカメラを使用する場合は、距離を 10m 以内にすることで条件を満足する。

(4) 撮影角度

・正面からの角度が 45 度以内を標準とする。

(5) 明るさ（照度）

・照度は 100 lx 以上としフラッシュは使用しない。

5. おわりに

デジタルカメラと自動画像処理ソフトを用いたひび割れ測定において、撮影画像に影響を与える画素数、圧縮率、画角、撮影距離、撮影角度、明るさについてそれぞれ実験により検証し、その影響について確認した。また、実務を想定した標準的なひび割れ撮影方法として提案した。

デジタルカメラ及び画像処理技術は近年急速に進歩しており、今後とも継続的に検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 外川 勝ほか：デジタル画像による撮影角度と認識可能なひび割れ幅の検証，土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.618-619，2000.10
- 2) 岡 俊蔵ほか：CCD カメラを用いたコンクリート床版ひび割れ検出に関する実橋試験，土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.452-453，1999.10
- 3) 小出 博ほか：デジタルスチル画像によるコンクリート床版ひび割れ認識の研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.454-455，1999.10